

# ELMOD – Simulation und Analyse der hydrologischen und morphologischen Entwicklung der Tideelbe für den Zeitraum von 2013 bis 2018

ELMOD-A: Messungen in der Natur und experimentelle Untersuchungen im Labor

Referent: Dipl.-Ing. Markus Witt

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Fröhle

**TUHH**  
Technische  
Universität  
Hamburg

**WASSERBAU**  
*River and Coastal Engineering*

GEFÖRDERT VOM

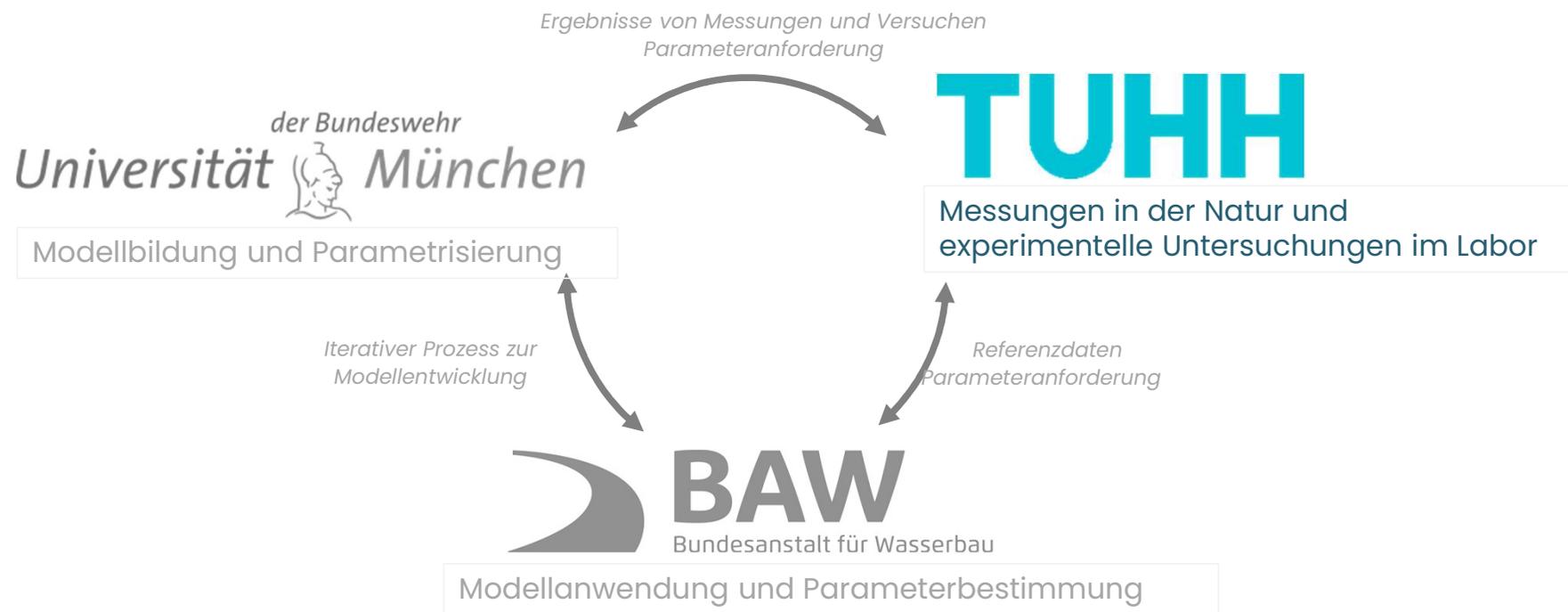


Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Kuratorium für Forschung  
im Küsteningenieurwesen

# ELMOD – Beteiligte Institutionen



# Inhalt

- Einleitung
- Schiffsgestützte Messfahrten im Hamburger Hafen
- Laboruntersuchungen
  - Konsolidierungsversuche
  - Erosionsversuche
- Messungen im Wattbereich in der Elbmündung
- Take-Home Messages

# 1. Einleitung

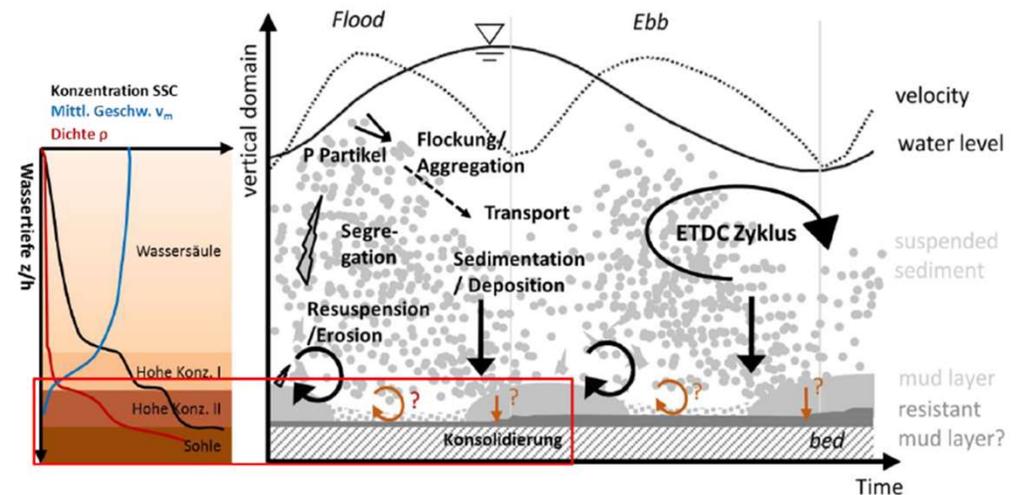


# Bodenaustauschprozesse kohäsiver Sedimente

- Transport-/Austauschprozesse abhängig von Vielzahl komplexer Einflüsse
- Sedimentgemische zeigen kohäsives Verhalten ab ca. 5-10 % Feinstkornanteil (Ton+Feinschluff) (van Rijn (1993), Mehta (2008), Winterwerp (2021))

- **Ziel von ELMOD-A:**

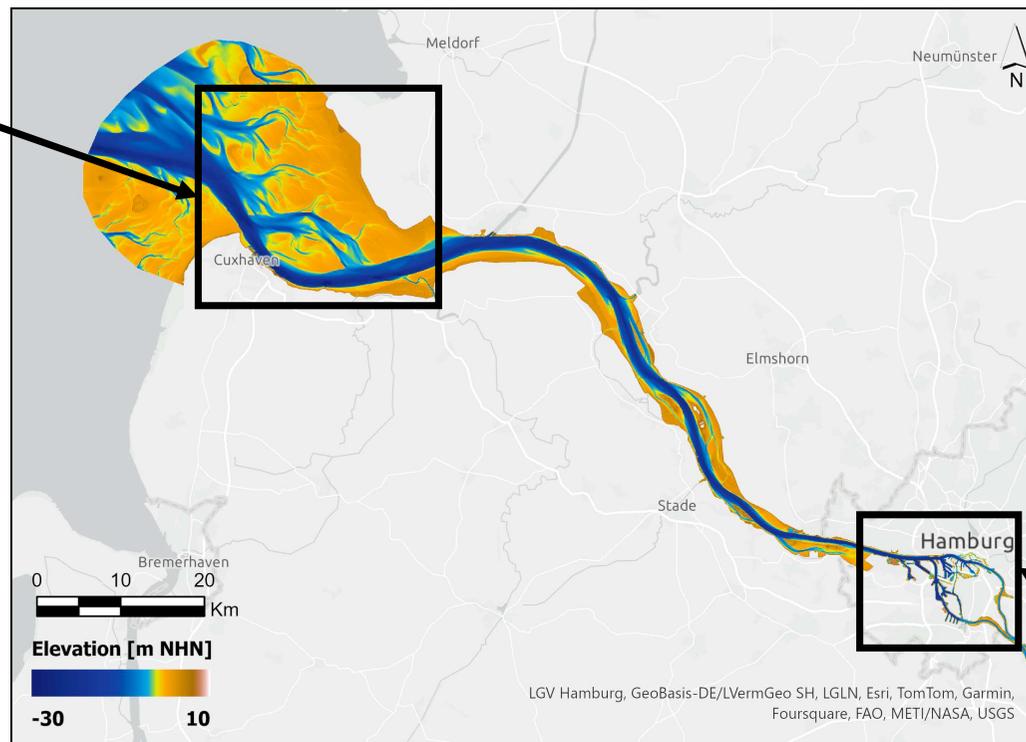
- Verbesserung des Verständnisses der Bodenaustauschprozesse an der Gewässersohle durch Feld- und Laborversuche
- Schaffung von Datenbasis für Teilprojekte der UniBW und der BAW



Tiefenprofil (schematisch) in Trübungszone eines Ästuars und Visualisierung des ETDC-Zyklus (Hesse, 2018; modifiziert durch Patzke, 2019)

# Fokusbereiche der Feld- und Laborversuche

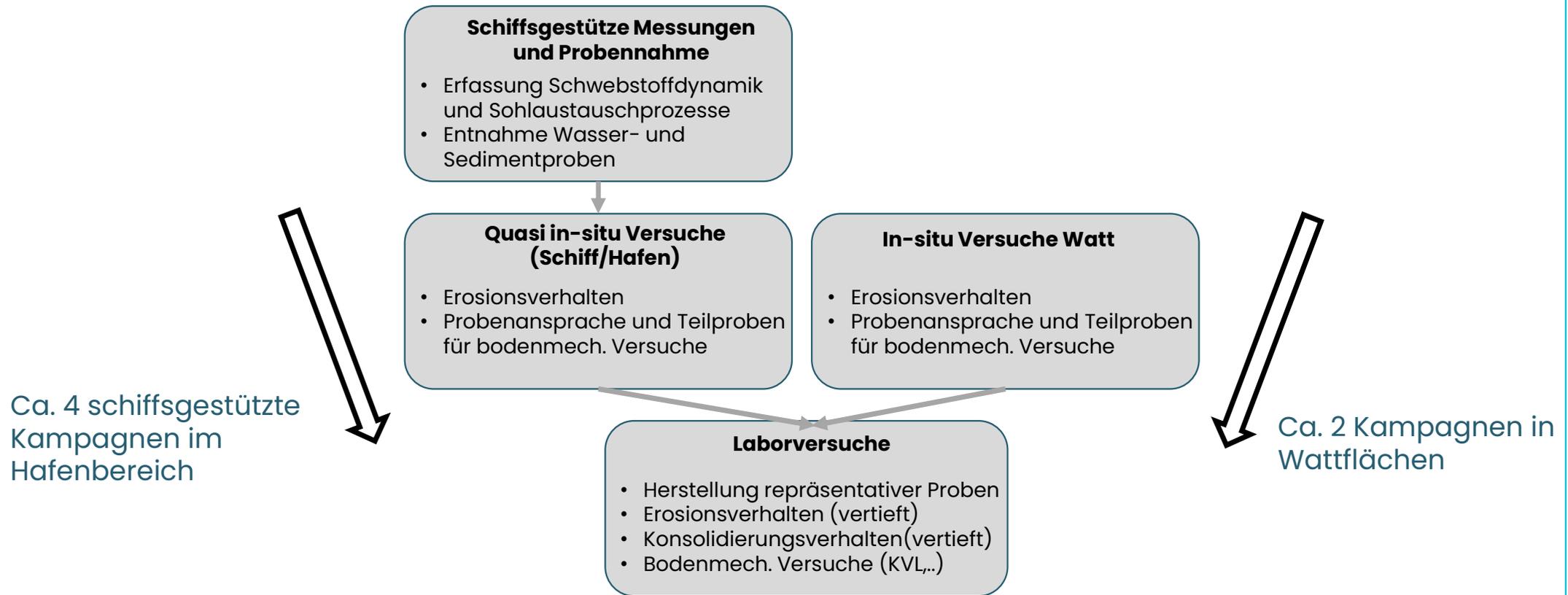
Fokusbereich 2:  
Wattflächen im  
Mündungsbereich  
der Elbe



Fokusbereich 1:  
Sedimentations-  
schwerpunkte im  
Hamburger Hafen

Fokusbereiche der Feld- und Laborversuche in ELMOD

# Untersuchungskonzept für Naturmessungen und Laborversuche

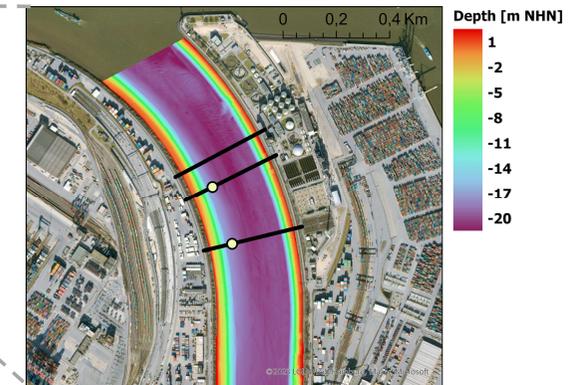
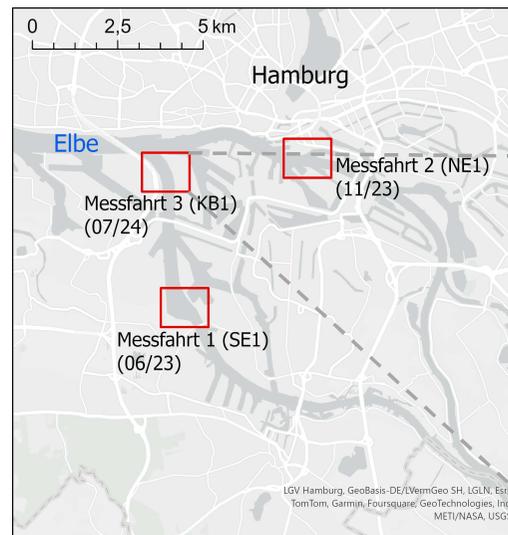


## 2. Schiffsgestützte Messfahrten im Hamburger Hafen



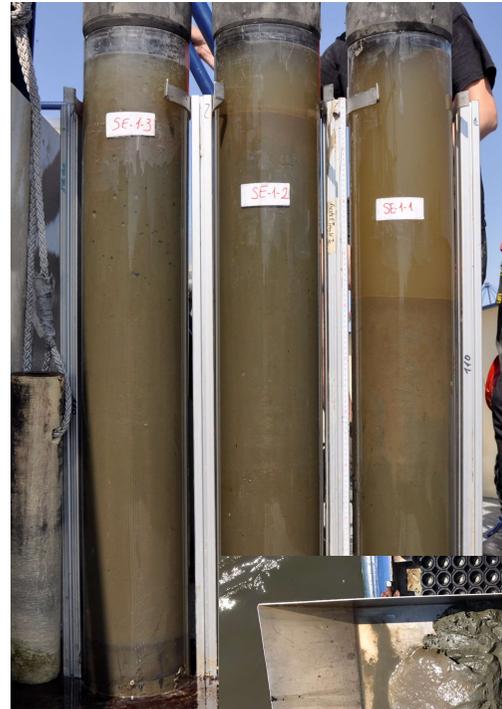
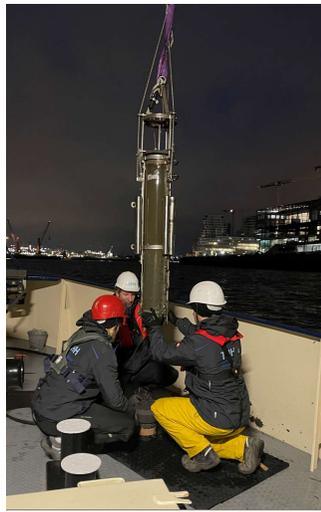
# Messfahrten im Hamburger Hafen

- Bisher drei Messfahrten an verschiedenen Sedimentationsschwerpunkten im Hamburger Hafen durchgeführt
- Arbeitsziele:
  - (Ganztiden-)messung von Strömungsverhältnissen, Schwebstoffdynamik und Sohlaustauschprozessen
  - Entnahme von möglichst ungestörten Sedimentproben für quasi-in situ Versuche und Laborversuche



Links: Standorte der bisherigen schiffsgestützten Messfahrten; rechts: Standort Köhlbrand mit Querprofilen für ADCP-/Sedimentechlot-Messungen und Probenentnahmestandorten

# Eindrücke von den schiffsgestützten Messfahrten

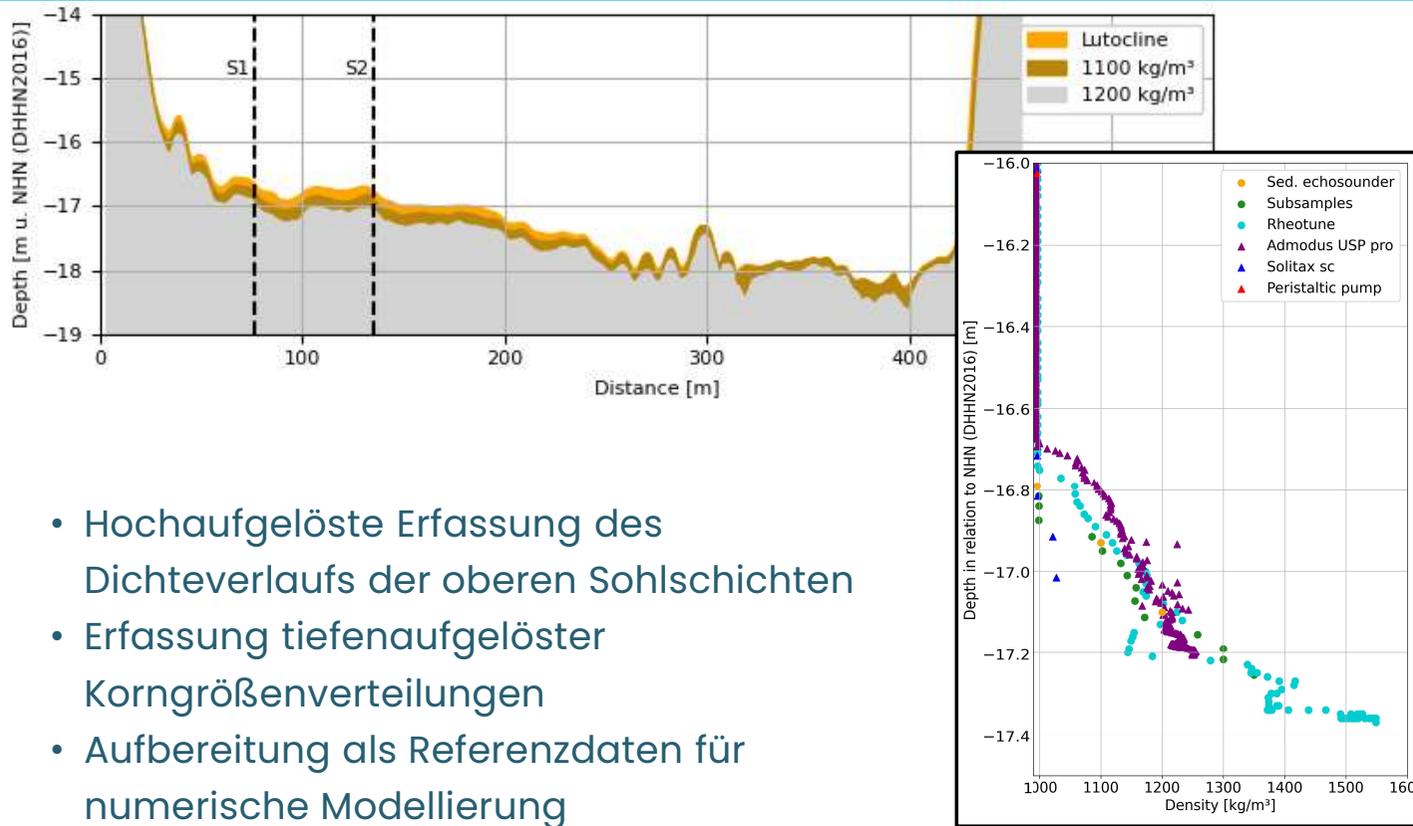


Links: Entnahme von Sedimentproben mit Probennehmer der TUHH; rechts: Entnommene Sedimentproben (gestört und ungestört)

Auswahl weiterer Mess- und Entnahmegereäte

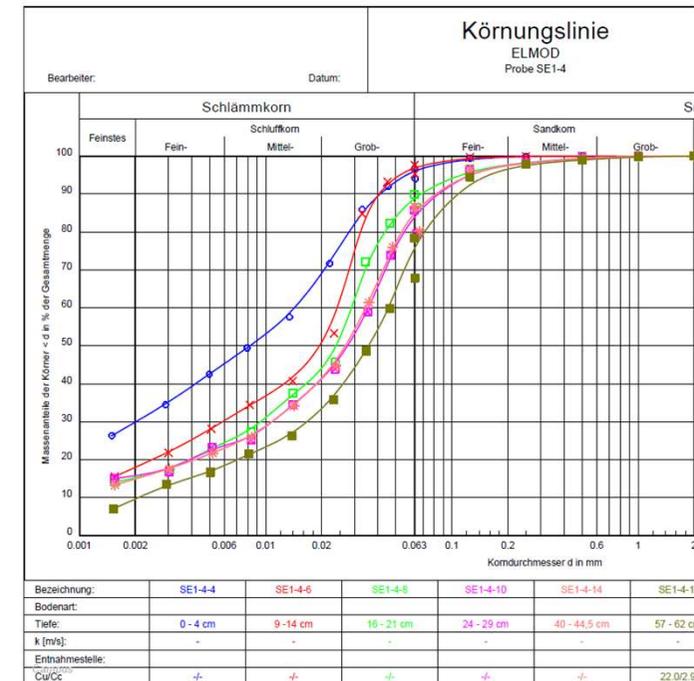


# Beispielerggebnisse der schiffsgestützten Messfahrten



- Hochaufgelöste Erfassung des Dichteverlaufs der oberen Sohlschichten
- Erfassung tiefenaufgelöster Korngrößenverteilungen
- Aufbereitung als Referenzdaten für numerische Modellierung

Links: Mit Sedimentecholot aufgezeichnetes Querprofil; Mitte: Vergleich verschiedener Sonden/Methoden zu Messung von (Punkt-)Dichteprofilen; Rechts: tiefenaufgelöste KVL (SE1)



# Laborversuche

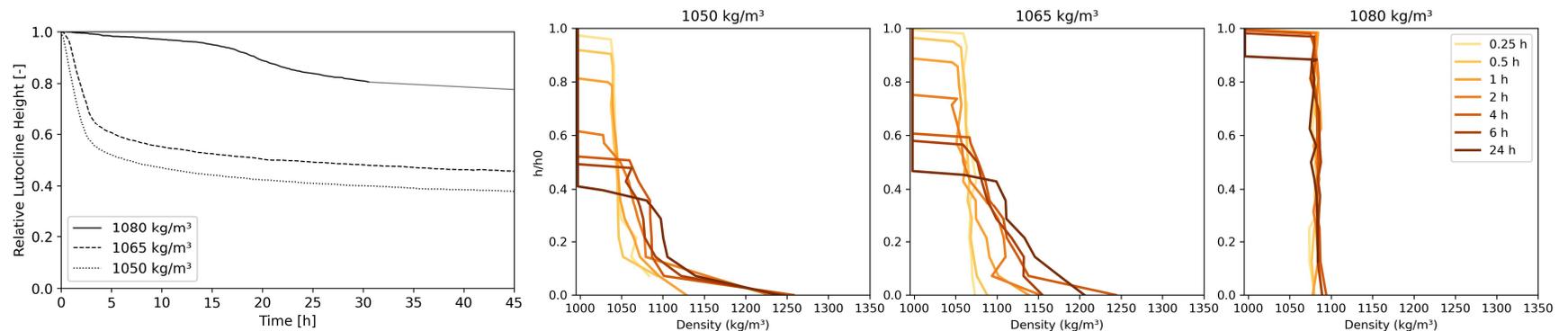


# Konsolidierungsversuche – Zeitabhängige Dichteprofile

- Zeitabhängige Dichteprofile und Lutoklinenverläufe für Suspensionen unterschiedlicher Initialdichten ermittelt
- $\rho_{gel} \sim 1065 - 1080 \text{ kg/m}^3$  bzw.  $c_{gel} \sim 105 - 130 \text{ g/l}$ 
  - Abhängig von KGV
- Validierungsdaten für Konsolidierungsmodelle
- Als Datensatz veröffentlicht:
  - <https://doi.org/10.15480/882.13237>



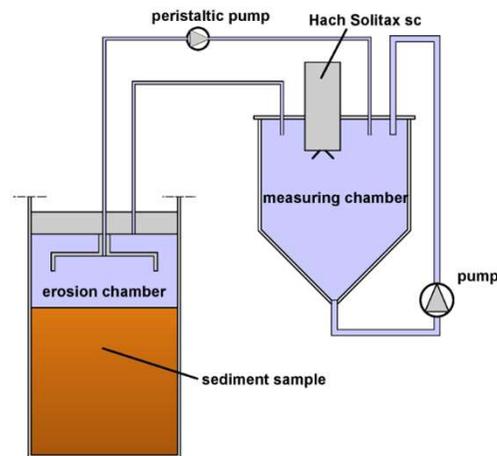
Absetzsäule im Labor der TUHH



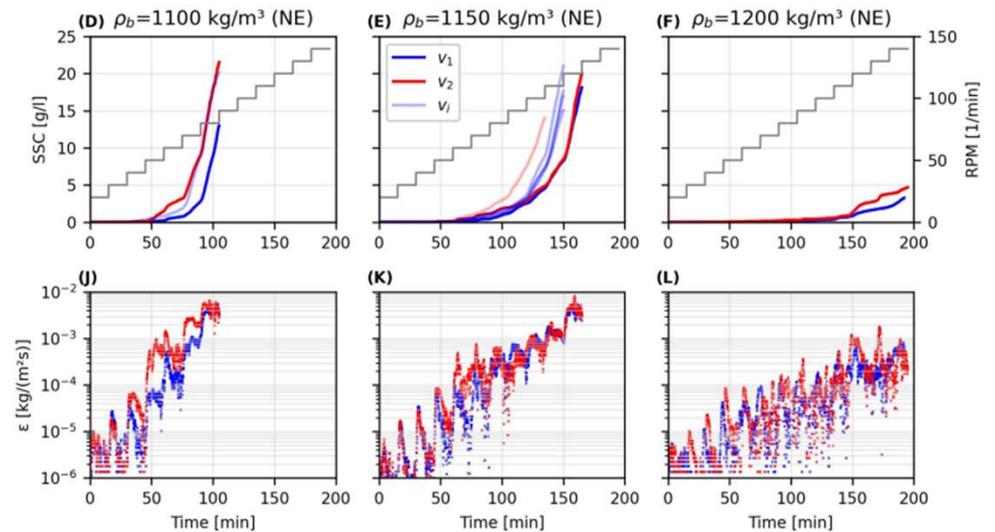
Lutoklinenverläufe und zeitabhängige Dichteprofile für SE-Sedimente mit variierender Initialdichte

# Erosionsuntersuchungen mit Gust-Mikrokosmos im Labor

- Weiterentwicklung des Gust-Mikrokosmos (C-GEMS)
- Durchführung systematischer Versuche mit homogenisierten Sedimentproben verschiedener Initialdichten
- Zielgrößen:
  - krit. Erosionsschubspannung ( $\tau_c$ )
  - Erosionsraten ( $\varepsilon$ )



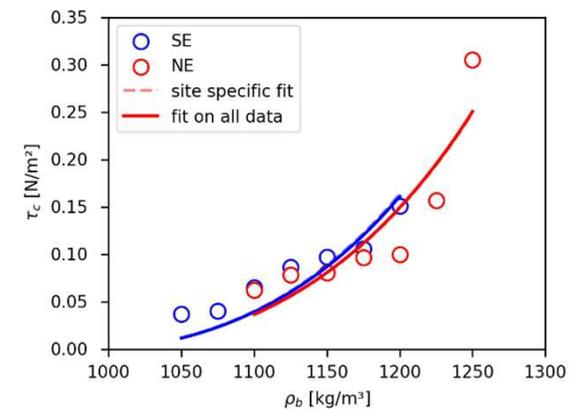
Schematischer Aufbau des C-GEMS



Beispielhafte Verläufe der Schwebstoffkonzentration (SSC) und Erosionsraten ( $\varepsilon$ ) für homogenisierte Proben unterschiedlicher Initialdichten vom Standort NE

# Erosionsuntersuchungen mit Gust-Mikrokosmos

- Entwicklung und Test verschiedener Methoden zur automatisierten Bestimmung von  $\tau_c$  aus Messdaten
- Anpassung der in BAW-Modell verwendeten Modelle an Ergebnisse der Laborversuche
- Ergebnisse als Paper veröffentlicht:
  - <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1386081>



An in Laborversuchen ermittelte kritische Erosionsschubspannungen gefittetes Modell nach Chen (2021)

## 2. Messungen im Wattbereich in der Elbmündung



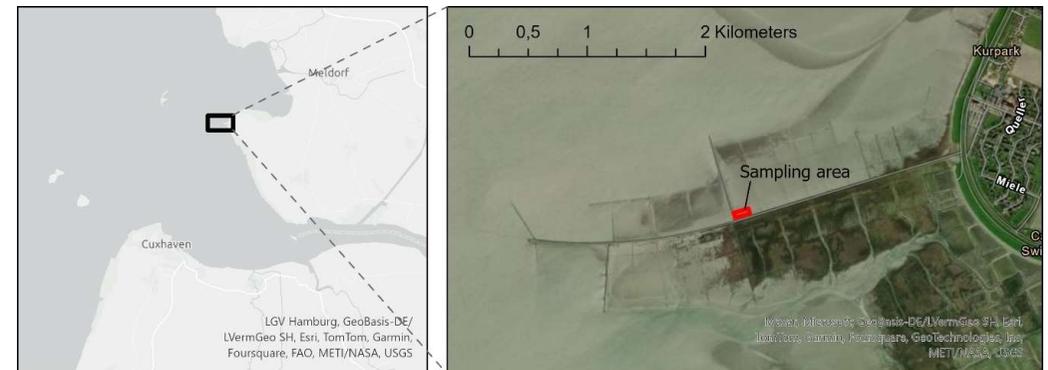
# Messkampagnen im Watt – Übersicht

- Insgesamt vier jeweils zweitägige Messkampagnen durchgeführt

Kürzel und Daten der vier Messkampagnen im Watt

TD1	TD2	TD3	TD4
04/24	05/24	08/24	09/24

- Standort: Trischendamm bei Friedrichskoog
- Arbeitsziele:
  - Erstmalsiger in-situ Einsatz des C-GEMS
  - Erfassung der Erosionseigenschaften der Sedimente zu unterschiedlichen Zeitpunkten
  - Erfassung der Sedimentzusammensetzung und -konzentration der oberen Sohlschichten
  - Vergleich von in-situ Messungen und Labormessungen mit C-GEMS



Standort der Messungen nördlich des Trischendamms

# Messkampagnen im Watt – Eindrücke

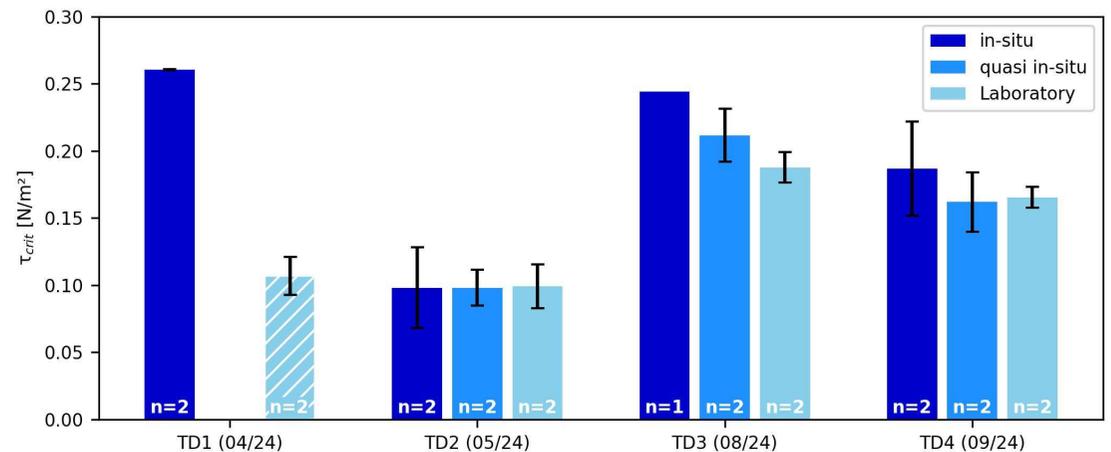


Wattoberfläche während TD1/TD2 und entnommene Sedimentprobe



# Messkampagnen im Watt – Ergebnisse Erosionsversuche

- Der In-situ Einsatz des Mikrokosmos konnte für alle Messkampagnen erfolgreich umgesetzt werden
- Die ermittelten Werte für  $\tau_c$ :
  - Liegen im Bereich von  $\sim 0,1 - 0,25 \text{ N/m}^2$
  - Zeigen eine starke zeitliche Variabilität
  - Sind abhängig von Sedimentzusammensetzung und -konzentration der oberen Sohlschicht
  - Nehmen durch Störung der Proben bei Probenentnahme und -transport tendenziell ab



Vergleich der nach SSC-Methode ermittelten Mittelwerte für  $\tau_c$ ; Errorbar  $\pm$  Range der Messwerte; Proben für TD1-Laborversuche bei Transport Erschütterungen ausgesetzt

# Take-Home Messages



# Take-Home Messages

- Das Transportverhalten von kohäsiven Sedimenten:
  - Unterscheidet sich grundlegend von dem nicht-kohäsiver Sedimente
  - Ist abhängig von einer Vielzahl komplexer Einflüsse und Wirkzusammenhänge
  - Ist bisher unzureichend verstanden und weißt wegen der enormen Bedeutung für den Sedimenthaushalt in u.a. Ästuaren Forschungsbedarf auf
- In ELMOD-A werden Feld- und Laborversuche zum Transportverhalten kohäsiver Sedimente im Elbeästuar durchgeführt. Der Fokus liegt dabei auf dem Erosions- und Konsolidierungsverhalten.
- Die Ergebnisse der Untersuchungen
  - Liefern einen Beitrag zum verbesserten Verständnis der Sedimenttransportprozesse in Ästuaren
  - Dienen als Datengrundlage für die Arbeiten der Teilprojekte der UniBW und der BAW

# ELMOD – Simulation und Analyse der hydrologischen und morphologischen Entwicklung der Tideelbe für den Zeitraum von 2013 bis 2018

ELMOD-A: Messungen in der Natur und experimentelle Untersuchungen im Labor

Referent: Dipl.-Ing. Markus Witt

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Fröhle

**TUHH**  
Technische  
Universität  
Hamburg

**WASSERBAU**  
*River and Coastal Engineering*

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Kuratorium für Forschung  
im Küsteningenieurwesen